かなた望遠鏡用高速分光器の駆動系制御ソフトウェアの開発

小松 智之
広島大学理学部物理科学科
B054370
高エネルギー宇宙・可視赤外線天文学研究室
主査:深澤 泰司 副査:高橋 徹

2009 年 2 月 10 日

概 要

近年、ブラックホール連星や激変星などの天体で可視光の短時間変動が観測されているが、それらの放射起源についてはまだよく分かっていないものが多い。そこで我々は高速分光器を開発し、広島大学宇宙科学センター附属東広島天文台かなた望遠鏡の第2ナスミス焦点に取り付けて観測を行っている。しかし、観測時にはフィルターや分散素子を頻繁に切替えるため従来のソフトウェアでは操作が複雑で、ミスを引き起こす原因となる上、セットアップに時間がかかり過ぎていた。

そこで、本研究では高速分光器を使った観測の効率を向上させることを目的として、駆動系を制御するソフトウェアの開発を行った。本研究で開発したソフトウェアでは撮像観測と分光観測を円滑にセットアップする機能の他、視野内に天体を導入する時に必要な座標計算を行い望遠鏡を動かす機能を実装している。そして、このソフトウェアを使って高速分光器で実際に試験観測を行い、期待通りの観測効率で分光データを取得できることを確認した。

目 次

図 目 次

表 目 次

第1章　序章

近年、観測によって宇宙というものは今まで考えられていた以上に非常に高エネルギーな現象に満ちあふれていることがわかってきた。それらの現象のより深い情報を得るにはX線、γ線といったエネルギーの高い光子だけでなく、よりエネルギーの低い (波長の長い) 電磁波にわたる多波長観測による詳細な分析が重要である。そこで我々の研究室は宇宙X線ガンマ線衛星による観測と可視光近赤外観測とを行い、高エネルギー現象の解明を目指している。その可視光近赤外観測装置として広島大学宇宙科学センター附属東広島天文台かなた望遠鏡 (図 1.1) が設置されている。

このかなた望遠鏡はもともと大学共同利用機関法人自然科学研究機構国立天文台三鷹キャンパスに1994年に赤外シミュレータとして設置され、すばる望遠鏡に取り付けられる観測装置や鏡の試験などに活躍してきた。広島大学はその主鏡の有効径1.5mで国内最大級といえる望遠鏡を譲り受け、観測環境および利便性に優れた東広島市東南部の山頂部に移設した。



図 1.1: 東広島天文台に設置されたかなた望遠鏡

表 1.1: かなた望遠鏡の仕様

項目	仕様
光学系	リッチー・クレティアン光学系
主鏡	有効径 1540mm/主鏡のＦ比=2.0
焦点モード	カセグレン焦点 (F/12.0)・ナスミス焦点 (F/12.0)
焦点面スケール	カセグレン　11.15 秒角/mm ・ナスミス　11.15 秒角/mm
焦点距離	焦点距離 18,300mm
分解能	1 ”FWHM
視野	15 φ
最大駆動速度	5°/sec 以上 (方位角) 3°/sec 以上 (高度軸)
最大化速度	0.5 °/sec^2 以上
架台	経緯台方式

我々はこのかなた望遠鏡に高エネルギー天体の観測に特化した観測装置を開発し、望遠鏡に取り付けて観測を行っている。現在、観測装置はカセグレン焦点に 1 つ、ナスミス焦点に 2 つ取り付けられている (望遠鏡の焦点については図 1.2 参照)。カセグレンには名古屋大学で開発された可視赤外線同時撮像分光装置「TRISPEC(Triple RangeImager and SPECtrograph)」が取り付けられている (図 1.3)。これは可視 1 バンド赤外 2 バンドの同時撮像・分光・偏光観測ができるもので現時点でのかなた望遠鏡の主力装置である。また広島大学独自に可視・赤外線の同時 3 バンド撮像・分光・偏光観測を想定した「可視赤外線同時撮像カメラ」も開発中であり、完成することで大幅な感度・精度の向上が期待される。一方、第一ナスミス焦点には一露出型可視広視野偏光撮像器「HOWPol(Hiroshima One-shot Wide field Polarimeter)」が取り付けられていている (図 1.4)。これはガンマ線バーストなどの突発天体に対し偏光観測を行うことを目的としたもので 2008 年 11 月より観測を開始した。そして、第二ナスミス焦点に取り付けられているのが本研究で取り扱うかなた望遠鏡用高速分光器である (図 1.5)。

近年、ブラックホール連星や激変星などの天体で可視光の短時間変動が観測されている。例えばブラックホール連星の場合、ブラックホールは伴星からのガスで降着円盤を形成し、その降着円盤のガスがブラックホールに吸い込まれるときに X 線から可視域にわたる電磁波を出す。この光のエネルギーは外側の方が低く、外縁付近からは可視光や赤外線を放射すると考えられている。その場合、円盤の外側から出る可視光の時間変動は長い間隔になるのが自然で、これまでは秒オーダーの短い時間変動はあまり注目されてこなかった。しかし、近年に可視光で秒スケールの短時間変動が観測され、可視光で円盤の内側に迫る可能性が示されたものの、その放射機構はまだ詳しくは知られていない。

また高速測光・分光観測はブラックホール近辺や激変星の短時間変動だけでなく、恒星フレア、ガンマ線バーストの残光現象での短期間変動、恒星の振動現象、白色矮星・中性子星の振動現象などの研究での応用が期待されている。

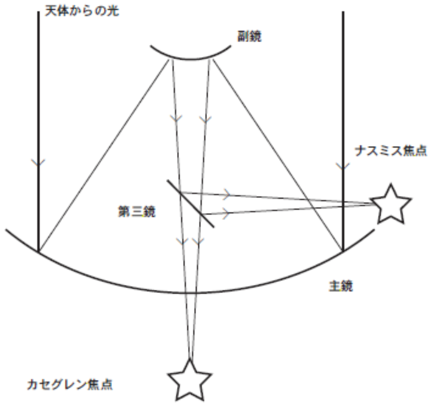


図 1.2: カセグレン焦点とナスミス焦点 [1]

天体からの入射光が凹面鏡である主鏡、凸面鏡である副鏡で反射され、主鏡の裏側で結ぶ焦点をカセグレン焦点と呼んでいる。主鏡の手前にある第三鏡（45 度鏡）ではねかえり、望遠鏡の横に結ぶ焦点がナスミス焦点である。各焦点は、鏡を差し替えることで使用する焦点を入れ替える。かなた望遠鏡では、第三鏡はモーターにより遠隔で操作できるようになっている。

そういった可視光での短時間変動の謎にせまるために、京都大学及び広島大学のグループにより高速分光観測が可能な本装置が開発され、かなた望遠鏡の第 2 ナスミス焦点に取り付けられている。しかし、制御ソフトウェアが整っていないため観測のセットアップに時間がかかる状況は改善されておらず、観測効率が悪いままとなっている。

本研究の目的はこの高速分光器の観測支援ソフトウェアを開発し、観測の効率を飛躍的に改善し、好機を逃さずに観測を行うことができるようにすることである。

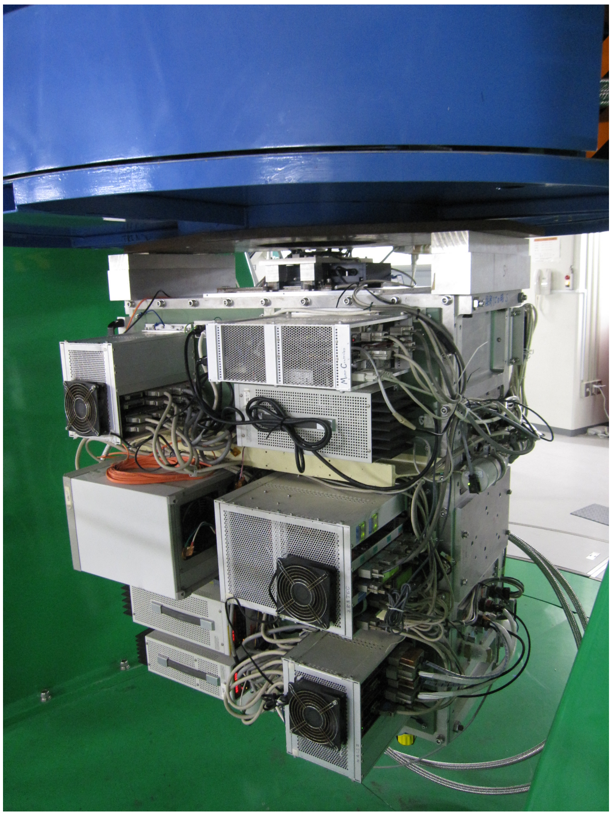


図 1.3: カセグレン焦点に設置された TRISPEC

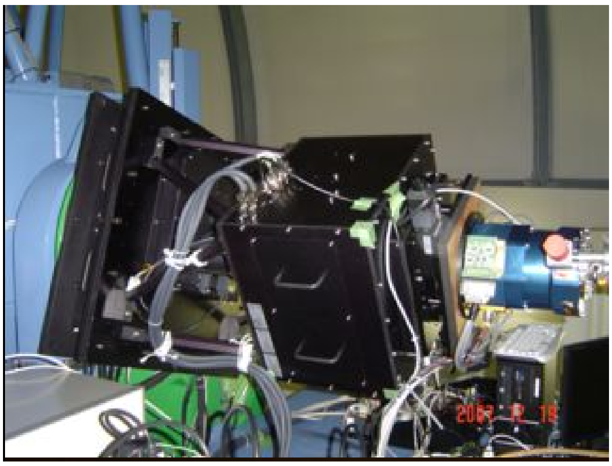


図 1.4: 第一ナスミス焦点に設置された HOWPol

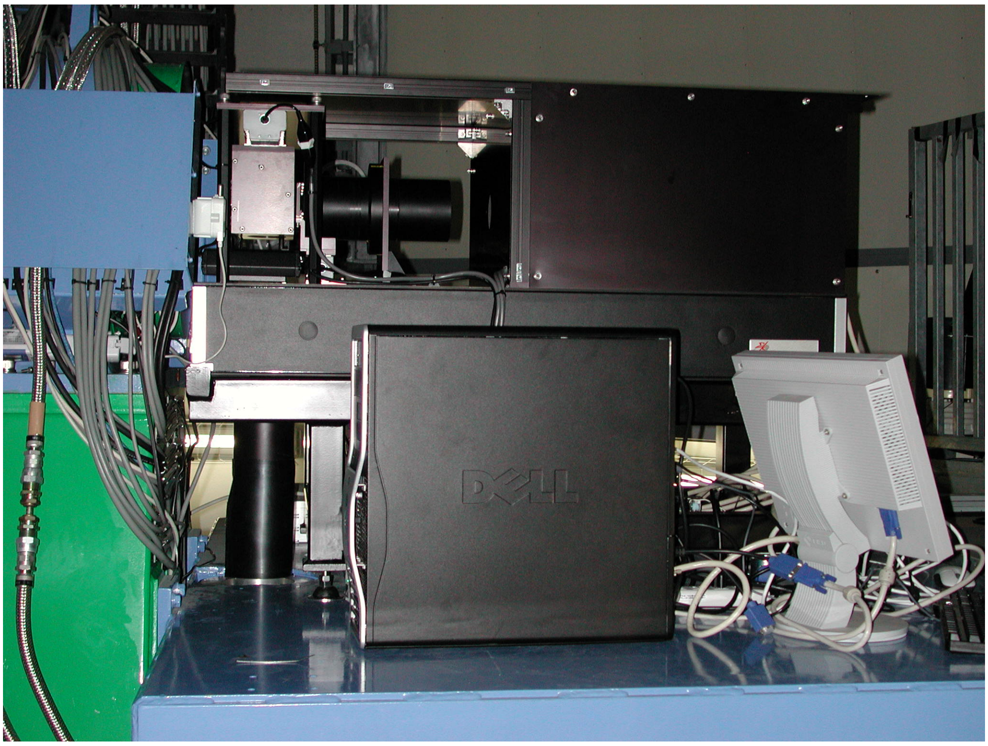


図 1.5: 第二ナスミス焦点に設置された高速分光器

第2章　高速分光器の構成

2.1　観測モード

高速分光器に要求される観測モードには、撮像、分光モード、及び観望用眼視光学系がある。
撮像モード、分光モードはそれぞれ最速で 35.8frame/sec の連続撮像が可能な高速 CCD カメラでの撮像観測と分光観測が可能なモードである。分光モードではプリズムを使った超低分散分光とグリズムを使った低分散分光という 2 種類の分散での分光観測が可能である。観望用モードは望遠鏡からの入射光を斜鏡で観望用眼視光学系へ送り、目で観測できるようにするモードである。装置本体は、2008 年 7 月までに、磯貝瑞希氏を中心とするグループ (PI:嶺重慎氏、共同研究者:野上大作氏、植村誠氏、川端弘治氏、磯貝瑞希氏ら) によって開発され、観測が行える状態になっていた。

2.2　光学系

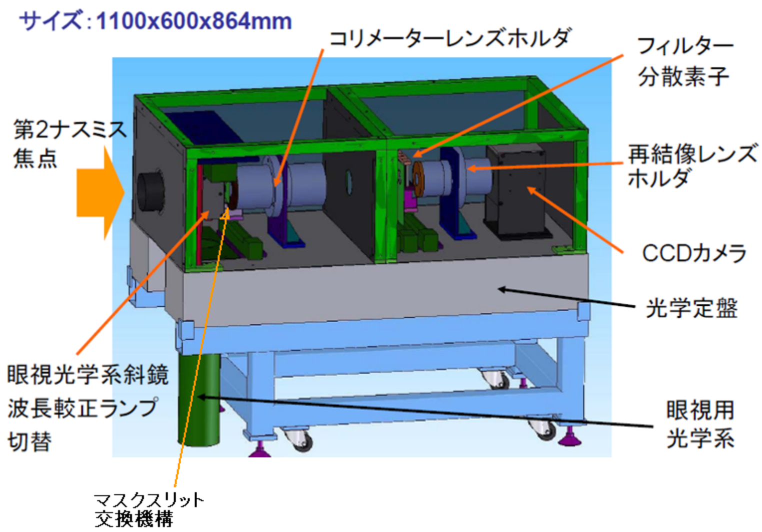


図 2.1: 高速分光器の全体像 [2]

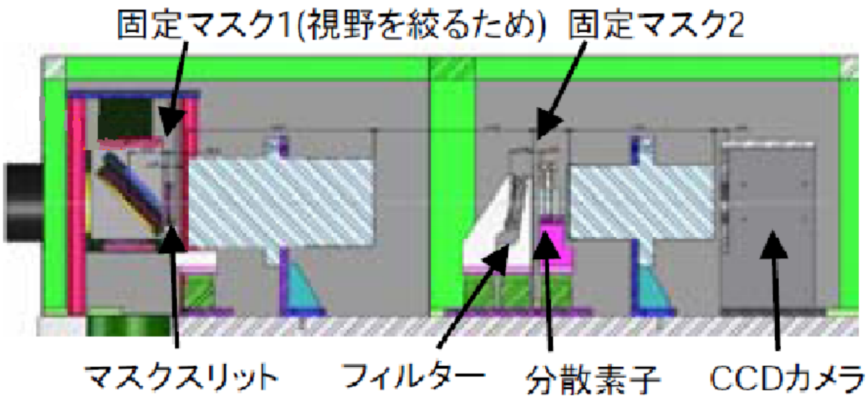


図 2.2: 高速分光器の横から見た図 [2]

高速分光器の光学系は図 2.1 のようになっている。望遠鏡の光が入ってくる側 (ナスミス焦点) の方から見ていくと、まず眼視用斜鏡/波長較正ランプの切替え機構があり、これを眼視用斜鏡にすることによって観望用眼視光学系モードになる。また波長較正 (HgNe) ランプにすることで波長較正用光源を入射することができる。

次にマスクスリット交換機構がある。3 種類の分光マスクが切替え可能であり、0.9mm の丸穴スリット、幅×長さが 0.11 × 4.0mm のスリット、そして 0.2 × 4.0mm のスリットがある。撮像観測する場合はマスクスリットは不要なので、「素通し」のポジションにする。

その先、光はコリメータで平行光線になってフィルターと分散素子を通り、再び集められて CCD カメラに入る。フィルターには広帯域フィルター B,V,R の 3 種類が、またロングパスフィルター L38(λ > 350nm を透過)2 枚、GG495(λ > 450nm を透過) の 2 種類が切替え可能となっている。分散素子は超低分散分光用のプリズムと低分散分光用のグリズムがある。プリズムとグリズムの性能は表 2.1 にまとめてある。

表 2.1: 分散素子の仕様 [2]

項目	プリズム	グリズム
透過率	85 %以上	50-70 %
直透過光	λ=600nm	λ=550nm
波長分解能	R=70-10(λ=400-800nm)	R=155@H α (0.2mm スリット使用)
観測波長域	400-800nm	450-680nm
溝本数	-	200 本/mm
溝角度	-	10°
ブレーズ波長	-	505nm

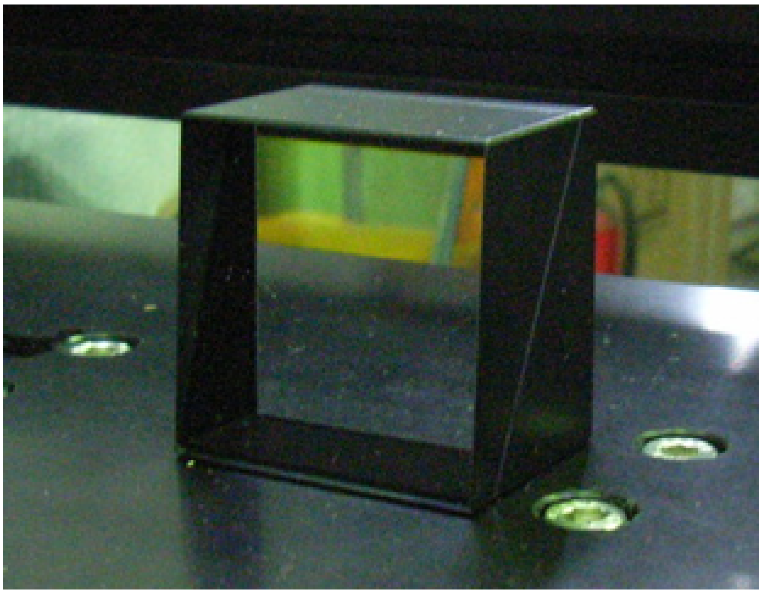


図 2.3: プリズム

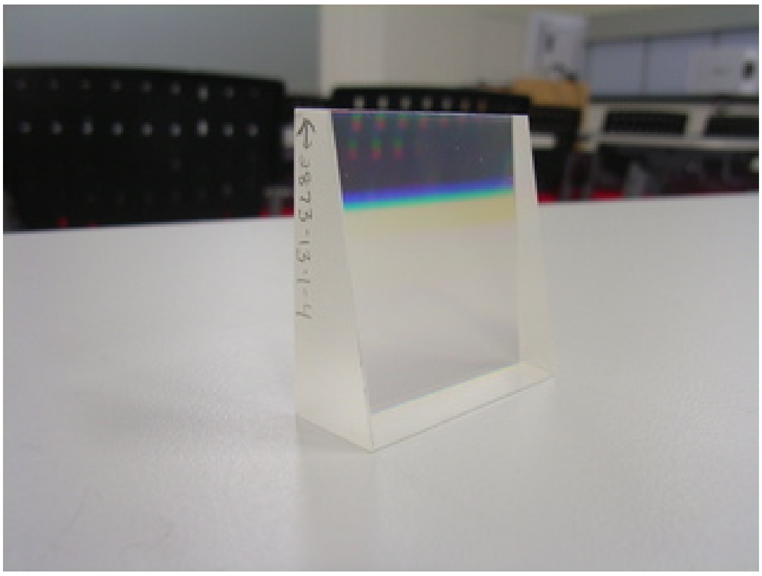


図 2.4: グリズム

2.3　駆動制御系

光学系の項で触れた眼視用斜鏡/波長較正ランプ、マスクスリット3種、分散素子2種、広帯域フィルター3種、ロングパスフィルター2種はそれぞれSUS社製のアクチュエータに乗っている。これらのアクチュエータはレール状になっていて、その上に取り付けられた各素子を決めた位置まで電動で動かすことができる。各アクチュエータはコントローラから命令を送ることで制御され、そのコントローラはパソコンから制御することができる。つまり、制御パソコンからコントローラを介してアクチュエータを制御することで素子を切替えることができる。そのようすを図2.5に示す。

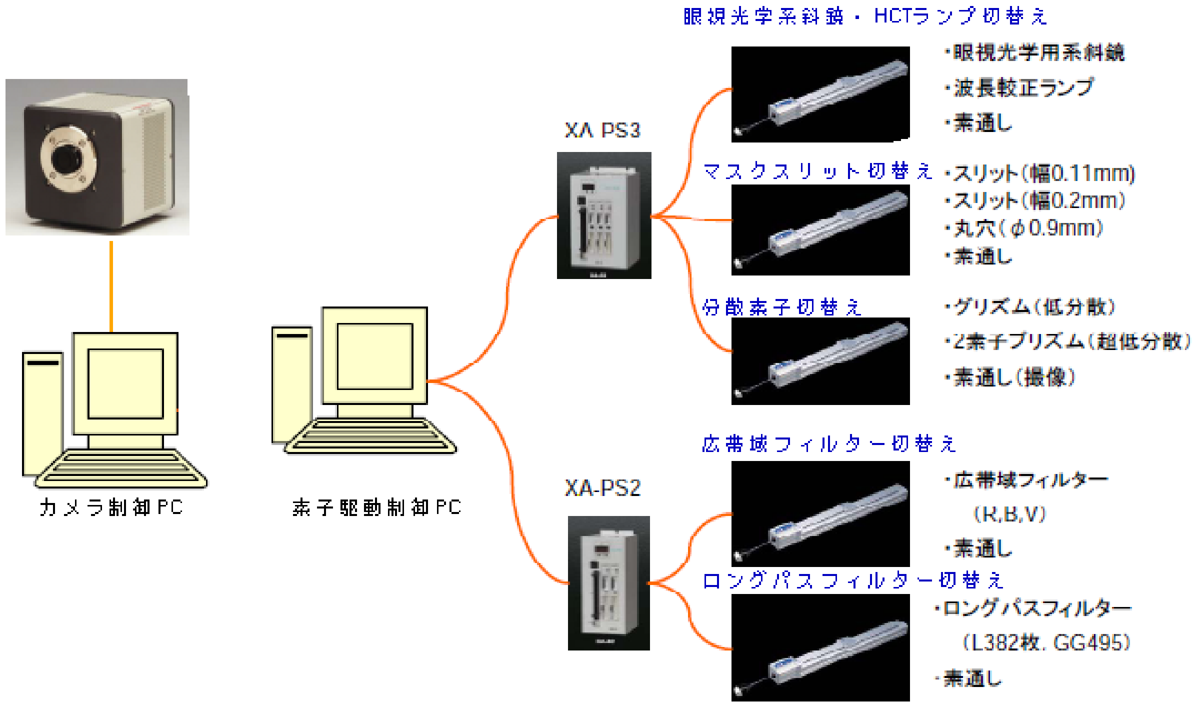


図 2.5: 制御系の様子 [2]

制御PCは2台あり、一つはCCDカメラを、もう一方がコントローラを制御している。コントローラは2種類あり、XA-PS3は3つのアクチュエータをXA-PS2 は2つのアクチュエータ制御している。アクチュエータは眼視光学系斜鏡・波長較正ランプ切替えにXA-50L-300、その他の4本についてはXA-35L-200を使っている。

以下にそれらの仕様を載せる(表2.2)。

表 2.2: アクチュエータの仕様 [3]

項目	XA-50L-300	XA-35L-200
最高速度	100mm/sec	50mm/sec
最低速度	10mm/sec	5mm/sec
分解能	0.01mm	0.005mm

2.4 検出器

検出器は E2V 社の電子増倍型 (EM)、背面照射型 frame transfer CCD を使って浜松ホトニクスと京都大とが共同で開発した EM-CCD カメラである (図 2.6)。この CCD は背面照射型なので電極に吸収されることが無いため、特に短い波長域で量子効率がよい。また、frame transfer CCD で読み出し速度が早く最速 framerate 35.8frame/sec である。ピクセル数は 512 × 512pix、ピクセルサイズ 16 μ m × 16 μ m となっている。ペルチェ冷却を用いた空冷方式によりカメラを－ 40 ℃程度の低温に保ち、ノイズを少なくしている。主な性能を表 2.3 に示す。

表 2.3: カメラの性能 [2]

項目	値
ピクセル数	512 × 512
ピクセルサイズ	16 μ m × 16 μ m
露光時間	27.1 msec-10sec
最速 framerate	35.8 frame/sec (No-bin,full-frame)
電子増倍 (EM)	4-2000(可変)
冷却方式	真空封じ切り、ペルチェ冷却+空冷
冷却温度	-50°C (0 度から 40 度で)
読み出しノイズ	100[e⁻]
A/D コンバータ	14 bit
飽和電荷量	400000[e⁻]
視野	2.6 ′× 2.6 ′



図 2.6: EM-CCD [2]

2.5 高速カメラとしての観測例

この検出器は 2006 年 9 月よりこれまで、分光器を介さずに望遠鏡に取り付けられ、高速カメラ (撮像器) として運用されてきた。観測例として、2007 年に広島大学で開催された多波長研究会において発表された杉保圭氏 (京都大学) の高速カメラを使った測光観測例を図 2.7[4] に載せる。

横軸が 1 目盛 0.01day、つまり約 864 秒であり、その間にもかなりのデータ点が撮れていて高速測光観測ができていることが分かる。この観測例は激変星である KR Aur の短時間変動の様子をよくとらえ、高速カメラを問題なく使うことができるということを良く示していると言える。

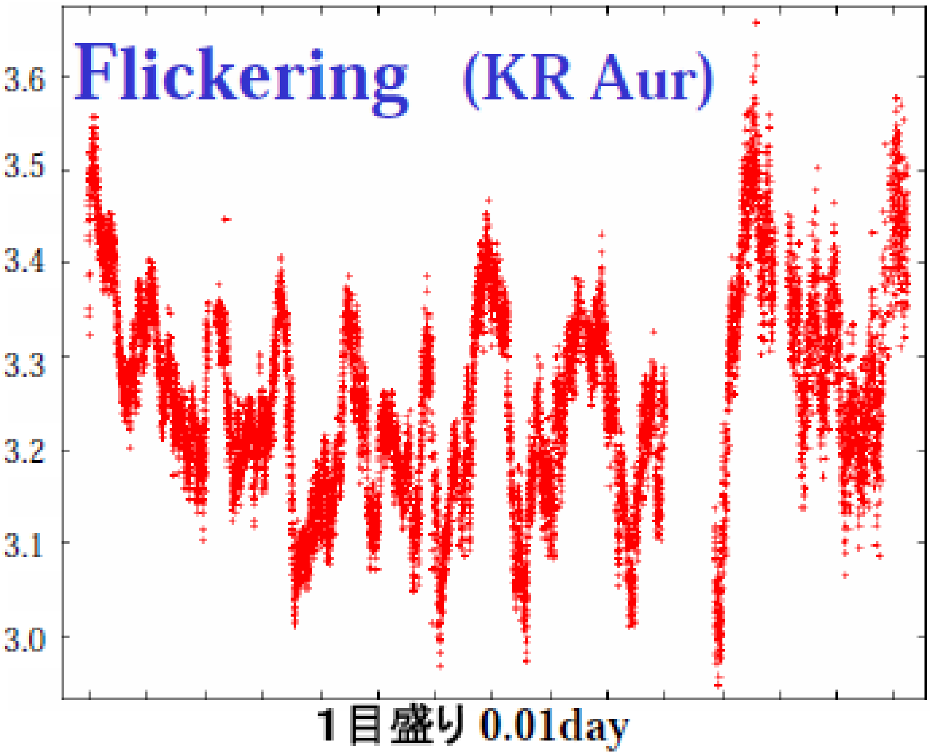


図 2.7: 高速カメラを用いた Aur KR の撮像観測から得られたライトカーブ [4]

第3章　観測及びデータ解析支援ソフトウェアの開発

3.1　観測の実際と開発目標

実際の観測手順をモード別に解説する。モードには撮像モード、分光モード、観測用モードの 3 つがある。

まず撮像モードであるが、これはバンドフィルターを使った測光観測に用いることができる。このモードにするにはアクチュエータを制御して必要な広帯域フィルター (R,V,B もしくは無し) を光路上に挿入し、その他の素子は基本的には入れない (素通しする) ようにする。あとは望遠鏡を天体に向け、カメラ制御パソコンで撮像を開始すれば観測できる。

次に、高速分光器の主なモードである分光モードであるが、このモードは分散素子を用いたスペクトル観測が可能である。このモードでは分光素子を選び、さらにマスクスリット (もしくは素通し) を選ぶ。この時グリズムでの観測を選んだ場合は、2 次光をカットするためのロングパスフィルターを観測したい波長域に応じて 2 種から選択する。素子を選んだあとは以下の順番で観測のセットアップを行う。これはマスク (スリット、丸穴) の開口に比べて望遠鏡の指向精度が悪いため、画像を取りながら望遠鏡の向きを微調整する必要があり、行うものである。分光モードでの観測手順を以下に紹介する。

1. 全ての素子を光路から外す (素通し) にする。ただし、光を抑えたいときは広帯域フィルターを入れる。
2. 天体の方へ望遠鏡を動かす。
3. 画像を 1 枚取得し、天体の位置を確認する。
4. マスクスリットを挿入して画像を 1 枚取得して、CCD 上のどの位置にマスクスリットがくるかを確認する。
5. 確認した位置に天体が入るように望遠鏡を動かす。
6. マスクスリットを外して 1 枚撮影し、スリット位置に天体が来ているかどうか確認する。来ていない場合は 5 からやり直す。
7. 選択した分散素子、ロングパスフィルター、マスクスリットすべて光路上に挿入する。

8. 観測を行う。

9. 必要であればさらに波長較正ランプを挿入して波長較正を行う。

つまり、分光観測を行う前のセットアップとして 1〜7 の手順を踏む必要がある。これまでは、素子は SUS 社製の XA-PS4 というソフトウェアを使いアクチュエータを制御することで動かしていた。しかし、コントローラごとにソフトウェアを立ち上げる必要があることや、このソフトウェアがアクチュエータの動作に関して汎用的であるがゆえに操作手順が難しいこと、天体観測における素子切替えのためにはいらない機能があって分かり辛いこと、さらに現在どの素子が光路上にあるか分かり辛いなどの問題点があった。また、分光観測モードの導入手順の「5」の部分で天体を CCD 上の確認した位置に入るように望遠鏡を動かさなければならないが、これまではこの作業を手動で行う必要があり、かなた望遠鏡が経緯台であることと高速分光器がナスミス台に取り付けられていることから望遠鏡位置により写野は回転するため、CCD 上の向きと赤道座標の向きは自明ではないことから、望遠鏡の位置調整には手間がかかる状況であった。
観望用モードは、人の目で見るモードなので、高速カメラもしくはカメラ制御パソコンの起動の有無は関係なく、素子制御パソコンからアクチュエータを制御し眼視用斜鏡を光路上に挿入することだけでモード切替えが完了する。観望会は不定期に行われる為、遅滞なく観望モードに切替えられる機能が分光器設計時より必要とされていたが、その整備が遅れていたので、本ソフトウェアで併せて実装する。

これらのうち、特に分光モード時の導入作業は煩雑で観測効率の低下や観測ミスを引き起こす要因となっていた。そこで本研究では、かなた望遠鏡用高速分光器の駆動系を制御する使い易いソフトウェアを開発することで、これらの問題点を克服し、観測の効率改善と正確性の向上を目的とする。

3.2 望遠鏡導入支援プログラム

プログラム環境として Visual C++を使った。今回は使い易いソフトウェアとして、「ソフトウェア上のあるボタンをクリックすると分光モードになる」と言う GUI(グラフィカルユーザーインターフェイス) を用いたアプリケーションの作成を目指した。コントローラのドライバは Windows 用のものが与えられているので、Windows ベースのソフト構築を考えた。Windows 上で動く GUI のアプリケーションを簡単に作れ、さらに高度な命令にも対応しているので Visual C++を使うことにした。

3.2.1 素子切替えプログラム

3.2.1.1 コントローラへの通信と命令

制御パソコンからコントローラへの命令はシリアル通信 (RS-232C) で行う。シリアル通信とはデータを直列にして一本の信号線で 1 ビットずつ連続的に送受信する通信方法である (図 3.1)。データを複数ビット同時で送るパラレル通信と比べてシリアル通信は信号線が少なくて済むこと、ノイズが入りにくいこと、信号線間のクロックのズレがないこと、などのメリットがあり、それゆえケーブルも長くすることができる。今回のシリアル通信の設定は下のようになっている (表 3.1)。

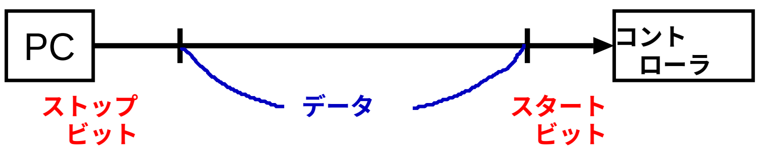


図 3.1: シリアル通信

表 3.1: シリアル通信の設定 [5]

項目	値	説明
ボーレート	9600 bps	1 秒間に何ビットのデータを送信するかの設定。
データ長	8 ビット	データの容量の設定。通常、文字一つ分の大きさ。
スタートビット	1 ビット	受信側がデータ (文字) の始まりだと認識する為のもの。
ストップビット	1 ビット	受信側がデータ (文字) の終わりだと認識する為のもの。
パリティ	なし	データが正常に送られたかを検査する為のもの。今回は無し。

また、シリアル通信を行うプログラムの関数は以下の様になっている。

1. WinRS 関数

   ポートをオープンする関数。引数でポート番号、ボーレート、行ターミネータ、データ長、パリティ、ストップビットを指定する。

2. putc1 関数

   1 バイトのデータを送信する関数。

3. talk 関数

   文字列を送信する関数。指定した文字列と行ターミネータ (文字列が終わるということを受信側に知らせるもの) を送信する。

4. getc1 関数

   1 バイトのデータを受信する関数。受信データがなければデータ待機状態となり、一定時間過ぎるとタイムアウトする。

5. listen 関数

   行ターミネータまでの文字列を受信する関数。受信データがなければデータ待機状態となり、一定時間過ぎるとタイムアウトする。

このシリアル通信を使って制御パソコンからコントローラに登録されているコマンドを文字列としてコントローラへ送信する。コントローラが文字列を正しく受け取った場合、制御パソコンへアンサーを文字列として返し、その後で命令に対応したアクチュエータの制御を行ってくれるようになっている。

例えば、制御パソコンからコントローラへ「グリズムを光路上に挿入」というコマンドを送る。するとコントローラは「命令を正しく受け取りました」というアンサーを制御パソコンに返すとともにアクチュエータを制御して、グリズムが光路上に入る位置へと動かす。もし、コマンドが違う等でコントローラとの通信がうまくいかなかった時は、コントローラはエラーを返す。

よって基本的には、この素子制御ソフトウェアのプログラミングは、「あるダイアログ上のボタンをユーザがクリック→コマンドをコントローラへ送信→コントローラからの返信への対応を記述」という一連の流れを組み合わせていくことで構築することができる (図 3.2)。

3.2.1.2 素子の切替え

ここで、素子の切替えについて説明する。前に述べたように素子の切替えは 5 本のアクチュエータを使って行われる。まず、アクチュエータに 1〜5 軸と番号を付けるとする。第 1 軸には眼視用斜鏡と波長較正ランプ、第 2 軸にはマスクスリット 3 種、第 3 軸には分散素子 2 種が乗っていて、これらの軸はコントローラ「XA-PS3」によって制御される。ま

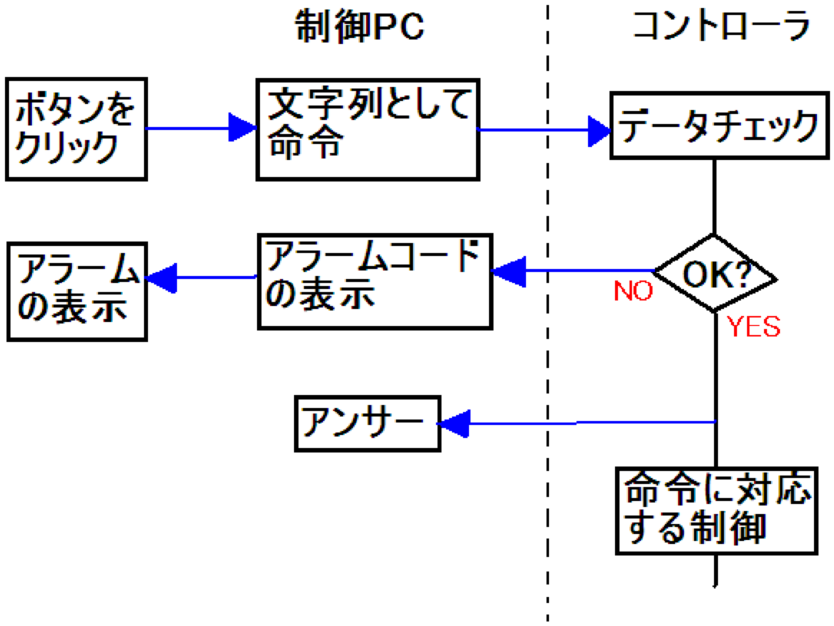


図 3.2: コントローラへの通信例

た、第 4 軸には広帯域フィルター 3 種、第 5 軸にはロングパスフィルター 2 種が乗っていて、これらの軸はコントローラ「XA-PS2」によって制御される。

第 3 軸を例にとって説明すると、分散素子であるグリズムとプリズムが台の上に固定されていて、その台はアクチュエータの上に取り付けられ電動で動かすことができる。アクチュエータの一番端を原点としてそこからの距離を指定することで、その位置まで台が動く。ここで、台が原点にあるときは素子が光路上に入らないようにしてあり、そこから 60mm 動かすとプリズム、109mm 動かすとグリズムがちょうど光路上に入るようになっている。このように原点から 60mm や 109mm といったような各軸の「位置情報」(表 3.2) をコントローラに送ることで素子を切替えることができる。さらにコントローラには「第 1 軸は原点、第 2 軸は 0.2mm スリットの位置、第 3 軸はプリズムの位置」といったような各軸の位置情報を一度に記憶する 1〜999 の「ポジション」というのがある。このポジションナンバーを指定することでもアクチュエータは制御できる。

本ソフトウェアでは「初期化」として起動時に位置情報が書かれたテキストファイルを自動的に読み込み、2 つのコントローラの各ポジションにそれらの書き込みを行うようにした。そして、素子の切替えの際にポジションナンバーを指定する命令を送ることにす

る。なぜこの方法を選択したかというと、直接位置情報を送って素子を動かすよりもポジションを指定する方が一回の動作ごとの通信量が少なくてすむからである。さらに1つの命令で複数のアクチュエータの制御が可能になるなど、プログラムが作り易かったからという理由もある。もちろんソフトウェア起動時にポジションデータを初期化することで、たくさんのデータの送受信が起動時に行われ、ソフトウェアの起動速度は多少遅くなる。しかし、それはソフトウェアの立ち上げ時だけであり、基本的に観測中においては、ソフトウェアは作動中であるので問題はないといえる。さらに、観測中の頻繁な素子入れ換えを考えるとこの方法がいいと考えた。

表 3.2: 各素子の位置情報

アクチュエータ番号	素子名	位置
1	素通し	0.000mm
1	斜鏡	145.000mm
1	HCT ランプ	53.690mm
2	素通し	0.000mm
2	0.11mm スリット	53.270mm
2	0.2mm スリット	107.925mm
2	0.9 丸穴	163.585mm
3	素通し	0.000mm
3	prism	60.000mm
3	grism	109.000mm
4	素通し	0.000mm
4	R バンドフィルター	51.500mm
4	B バンドフィルター	110.000mm
4	V バンドフィルター	167.000mm
5	素通し	0.000mm
5	L38 ロングパスフィルター 1 枚目	52.150mm
5	L38 ロングパスフィルター 2 枚目	109.900mm
5	GG495 ロングパスフィルター	167.400mm

3.2.2 ソフトウェアの概略

本ソフトウェアの作動中の画面を図 3.3 に示す。このソフトウェアは観測セットアップ用の処理をする部分「1」「2」と、個別の素子を動かす部分「4」「5」、及びステータス情報を表示する部分「3」「6」から成る。以下図 3.3 を見ながら説明していく。

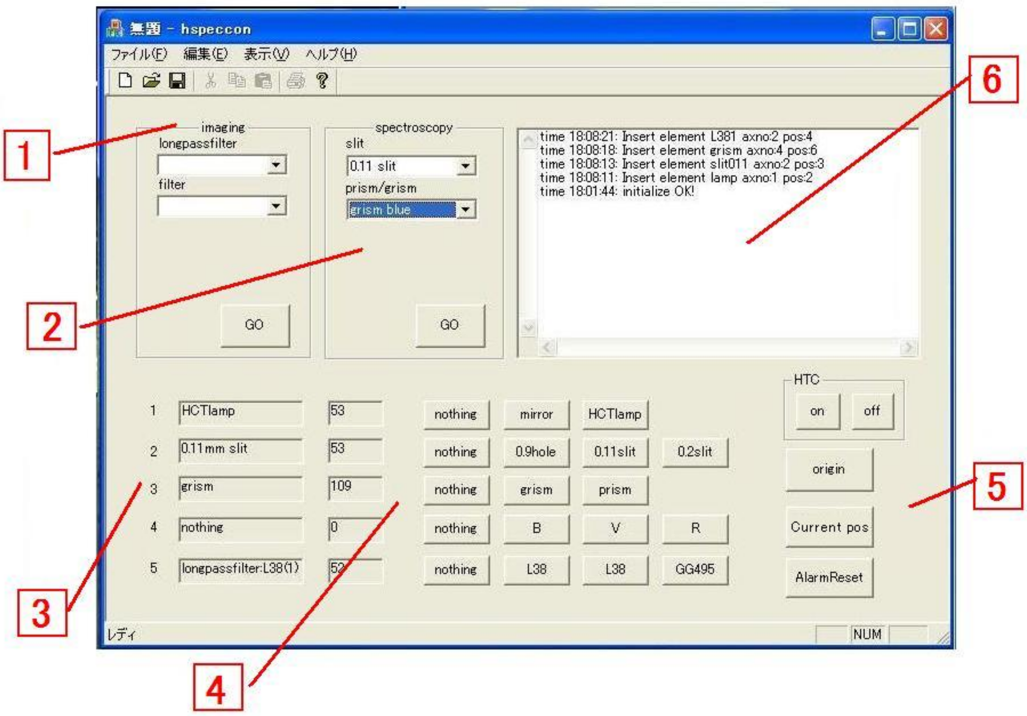


図 3.3: ソフトウェア画面

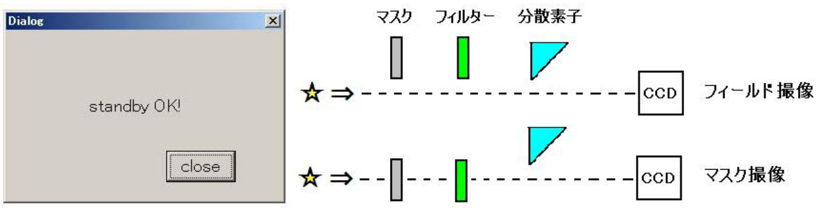


図 3.4: 「imaging」

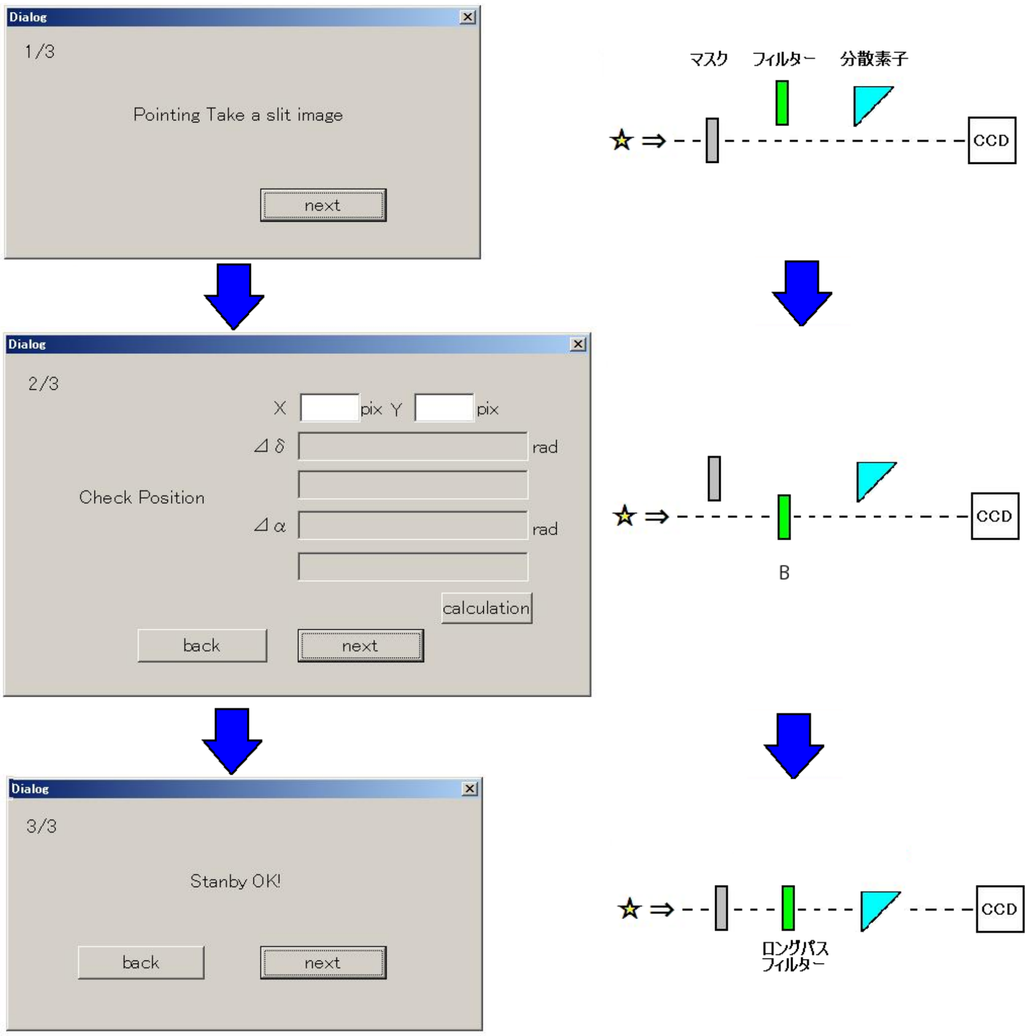


図 3.5: 「spectroscopy」

3.2.2.1 「imaging(撮像)」について

高速カメラを使った撮像観測モードへ切替えるためのボタンである。図 3.3 の「1」のコンボボックスをクリックすることで選択肢が出てくるのでその中から必要なフィルターを選び、その下の「GO」ボタンをクリックする。すると選んだフィルターが光路上に挿入されその他の素子は光路上から外れる。アクチュエータの動作が終了し撮像観測できる状態になると、図 3.4 のような表示が出てくるので、観測者はカメラを制御 (別のパソコンで行う) して撮像を開始する。

3.2.2.2 「spectroscopy(分光)」について

高速分光観測モードのセットアップを行う為のウィザードを起動するボタンである。まず図 3.3 の「2」のコンボボックスをクリックし、選択肢から分光観測で使いたいマスクスリットを選択する。次に prism/grism の選択を行う。この時グリズムに対して、「grism blue」という選択肢を選ぶとロングパスフィルターは L38、「grism red」という選択肢では GG495 がそれぞれ自動的に選択されるようになっている。使う素子を決めた後は「GO」ボタンをクリックする。すると選択したマスクスリットだけが光路上に入った状態となり、図 3.5 左上段が表示されるので観測者は画像を一枚取得し、スリットのイメージを確認する。確認したら「next」ボタンを押すだけでスリットは外れ、広帯域フィルターの B だけが入った状態となり図 3.5 左中段が表示される。

ここで、天体をスリットイメージのところまで入れるために望遠鏡を動かすのだが、これは後述の座標計算プログラムを使うことで自動的に天体を CCD 上の目的の位置に持ってくることができる。

天体の導入が終わったら「next」ボタンを押す。すると、選んだマスクスリット、ロングパスフィルター、分光素子が光路上の挿入され、図 3.5 左下段が表示され、最終的に分光観測できる状態となる。あとは観測者がカメラを制御して高速分光観測を行えば良い。これらの光学素子の配列状況を整理すると図 3.5 右側のようになる。

また、波長較正画像を取得する場合にはこの分光モードの後に右端中段にある「HCT on/off」を押せば波長較正用の HCT ランプが光路上に入り点灯されるので観測者はカメラを制御し、波長較正のデータを取得することができる。

このソフトウェアの上記 2 つ「imaging」と「spectroscopy」の部分が観測者にとって主に使われる部分だと思われる。どちらの観測モードにしても観測者はコンボボックスからの選択と「next」ボタンのクリックだけで素子の切替えが行え、ほぼカメラ制御の方をメインに操作すればいい。このように本ソフトウェアを使えば簡単に観測モードの切替えができるので観測の正確性があがるとともに観測の早さも向上すると考えられる。

以下では本ソフトウェアの別の機能を説明する。

3.2.2.3　素子表示部分 (図 3.3 の「3」)

ここはアクチュエータの 1〜5 軸で現在何の素子が光路上に入っているかを表示する部分である。左の長い欄に素子の名前、右の短い欄にアクチュエータの現在の位置情報 (単位:mm) を表示する。プログラムの内容としてはソフトウェア立ち上げ時や素子の移動が行われた後等にコントローラへすべてのアクチュエータの位置情報を問い合わせ、帰ってきた値を mm 単位でまず表示する。その位置情報によって素子を判別し表示させる。その際の各素子の位置許容差は 10mm とした。もし、コントローラから返された位置情報から素子が判別できない場合はアクチュエータの移動エラーなどで素子が光路上からずれている可能性があるので「error」と表示するようにした。

3.2.2.4　素子切替えボタン (図 3.3 の「4」)

ここは素子の名前がかかれたボタンが並んだ所である。このボタンを押すことでその素子が光路上に挿入される (その他の軸は変化無し) ので観測者が自ら素子を選択的に入れることができる。これは通常の撮像モードや分光モードではなく観測者の個人的なセッティングで観測したい場合や、装置のメンテナンスで個別に動かしたい場合もあることを想定して作ったものである。

3.2.2.5　その他のボタン (図 3.3 の「5」)

上から「origin」ボタン、「Current pos」ボタン、「AlarmReset」ボタンとなっている。「origin」ボタンは全ての軸を同時に原点復帰させるボタンである。素子を連続的に切替え続けると機械的な移動のズレが生じる。これはアクチュエータを原点復帰させることで回避できるのでそのためのボタンである。しかし、実際には、そのズレは観測に影響を及ぼすほどではないことが分かっているので、このボタンが使われるのはすべての素子を素通ししたいときなど限定的であると考えられる。「Current pos」ボタンは全てのアクチュエータの今の位置情報を取得、表示する為のものである。「AlarmReset」ボタンはコントローラがなんらかのエラーでアラームを起こしたときにアラームを解除するためのものである。コントローラがアラーム状態であるとアラームが解除されるまで命令を受け付けないのでそれを回避するためのものである。

3.2.2.6　コメント欄 (図 3.3 の「6」)

ここはコメント欄である。ここに、プログラムの動作内容 (モードの切替えや素子切替時) やエラー報告などが表示される。このことで観測者は分かりやすく状況を確認しながら観測を行うことができるので観測の正確性が高まる。また、エラーの種類も分かるようにしているので、対処もとり易い。

さらに、これらのコメントを保存する機能としてログ機能を実装した。これはソフトウェア立ち上げ時にその日の日付を取得し、日付を名前としてテキスト形式のログファイルを自動的に作る。そこに時間とともにプログラムの動作内容やエラー報告が書き込まれるというものである。

3.2.3　座標計算及び望遠鏡オフセット指令プログラム

3.2.3.1　ナスミス焦点と写野回転

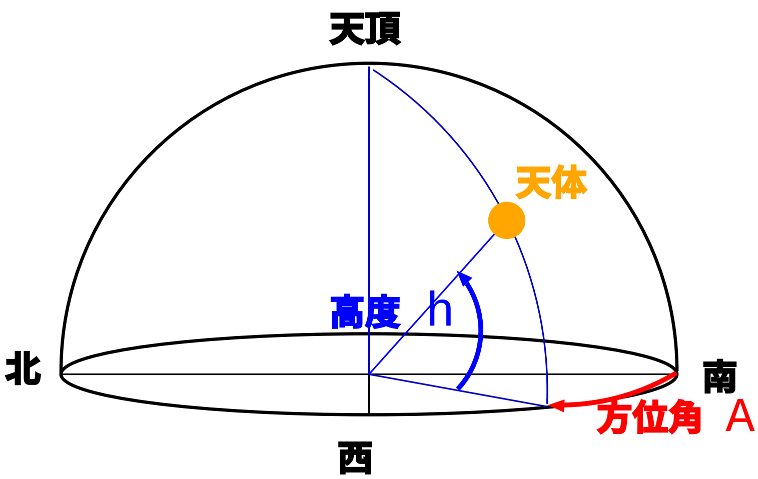


図 3.6: 経緯台について

高速分光器が取り付けられているかなた望遠鏡は経緯台方式 (図 3.6) で駆動する。しかし、経緯台では天頂の方向が鏡筒に対して固定されているので、望遠鏡が天体を追尾することによって、例えばカセグレン焦点から見た視野の方角 (例えば天の北極の方位角) が鏡筒に対して回転する。その写野回転角 p は天体から天頂と天の北極をとを見込む角度となり、この p と目標天体の赤緯 δ、高度 h、方位角 A、観測値の緯度 ϕ には以下の関係が成り立つ [6]。

$$\cos p \cos \delta = \sin h \cos \phi \cos A + \cos h \sin \phi$$
$$\sin p \cos \delta = \cos \phi \sin A$$

この写野回転角 p はカセグレン焦点の場合であり、ナスミス焦点では第 3 鏡が加わるため、写野がさらに回転する。しかし、この回転成分は高度のみによる成分であり、方位角方向によって変わることは無い。よってナスミスローテータの角度の原点を水平左の方向にとって、ナスミス焦点での写野回転角 P は東ナスミスで $P = p - h$ 西ナスミスで $P = p + h$ となる。

3.2.3.2　座標計算

かなた望遠鏡では視野内に入っている天体をさらに微調整してスリット上へ導入する場合、そのスリット位置と天体の今の位置との赤経赤緯の差 (オフセット) を望遠鏡に入力することで望遠鏡位置をわずかにシフトすることができる。この機能を使って微調整する場合、CCD 上において天体を導入したい位置と天体が表示されている位置の差を、上で述べた写野回転を考慮して赤経赤緯の差にする作業が必要となってくる。この天体導入の微調整は分光観測をする直前に行う。具体的にはマスクスリットを挿入して CCD 上でのスリット像を確認し、一旦マスクスリットを外し確認した位置に天体を導入する時である。本ソフトウェアでは「spectroscopy」モードを使った時の 2 つ目のダイアログ (図 3.5 中段) の部分がこれに当たる。この画面で CCD 上に写っている天体のピクセル数での座標を入力すると座標計算を行い、自動的に望遠鏡を制御して天体を目標位置へと導入することができるようになっている。

では実際にプログラムではどう計算したかを簡単に説明する。CCD 上での天体導入の目標位置は通常マスクによって異なる他、観測者の好みでも変わり得るが、高速分光器の開発者である磯貝氏がすでに光学調整を完了しており、すべてのスリットで (X,Y)=(287,249)pix への導入を目指せばよいようになっている。よって、本プログラムの計算では、マスクによらずこの座標を天体導入の目標座標とする。

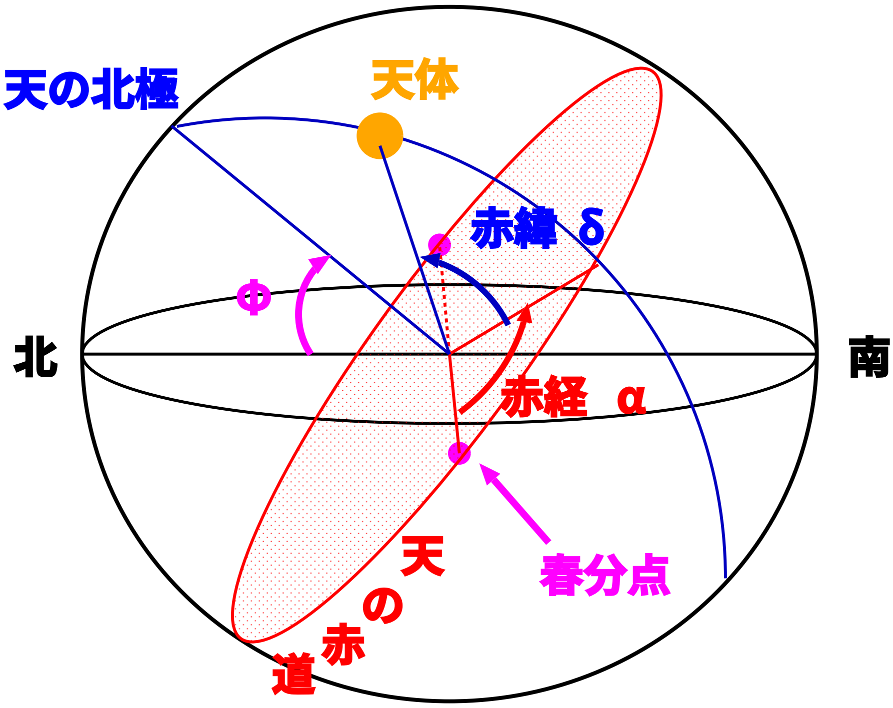


図 3.7: 赤経赤緯について

計算は図 3.8 のようにベクトルで考えると分かりやすい。この図は CCD 上で考えていて、右下に伸びる青い R ベクトル分だけ動くように望遠鏡を制御すると天体が目標座標に入るとする。つまり、ベクトルの根元が天体位置で先端が目標位置 (287,249pix) である。図 3.8 の z は天頂方向軸であり、CCD 上の横軸縦軸が x 軸 y 軸である。また、δ、α はそれぞれ赤緯、赤経方向である。CCD 上での x,y 座標から赤緯、赤経座標に直す為にはベクトルの長さ (R、単位:秒角) と赤緯方向とベクトルとのなす角 Q が分かればよい。

まず写野回転角 P は上の関係から出せるが、必要なパラメータである赤緯 δ、高度 h、方位角 A はかなた望遠鏡から逐次情報を引きだすことができる。観測値の緯度 ϕ は前もって与えておく。x 軸から天頂方向への角度 s は 1.99 度と分かっている。この場合、$Q = \beta - (P + s)$ となる。次に空に投影したベクトルの長さであるが、CCD 上でのピクセル数単位の大きさは画像上の星像重心から求め、さらに 1 ピクセルあたり 0.316 秒角であることを利用して計算することができる。

よって求めるべき赤経赤緯の要移動量ベクトル R=(Δ α、Δ δ) は、$\Delta\alpha = R\sin Q$、$\Delta\delta = R\cos Q$ となる。

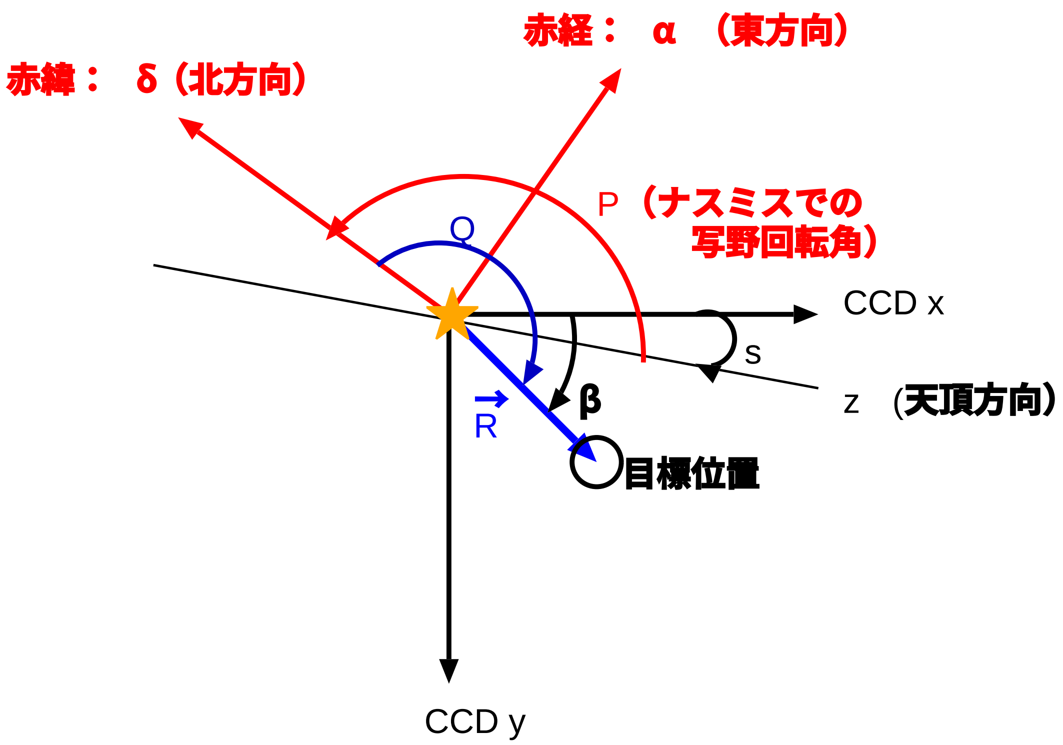


図 3.8: ナスミス焦点での写野回転

3.2.3.3 望遠鏡との通信

前の節で述べたように本ソフトウェアでは、望遠鏡への移動命令の他、ステータスを受け取るために、望遠鏡の制御系と通信する必要がある。望遠鏡との通信はストリームソケットを用いた通信 (TCP/IP) を使って行う。Windows(本ソフトウェア側)〜UNIX(望遠鏡側) 間のネットワーク通信が容易に行うことができ、さらに望遠鏡側で既にストリームソケットのサーバー (受信側) が実装されているという理由からこの方式で通信を行う。

ストリームソケットは、データフロー方式という連続的なデータを境界のない形式で送る方式である。実際にデータを送受信する際には、始めにコネクションを確立しておいてから通信を行うが、このため信頼性のあるデータ送受信が保証されるので、確実なデータの通信やサイズの大きいデータ転送に適しているというメリットがある。接続を行なう時はコンピュータが持つネットワーク内での住所にあたる IP アドレスと、IP アドレスのサブアドレスであるポート番号を組み合わせたネットワークアドレスを指定する。

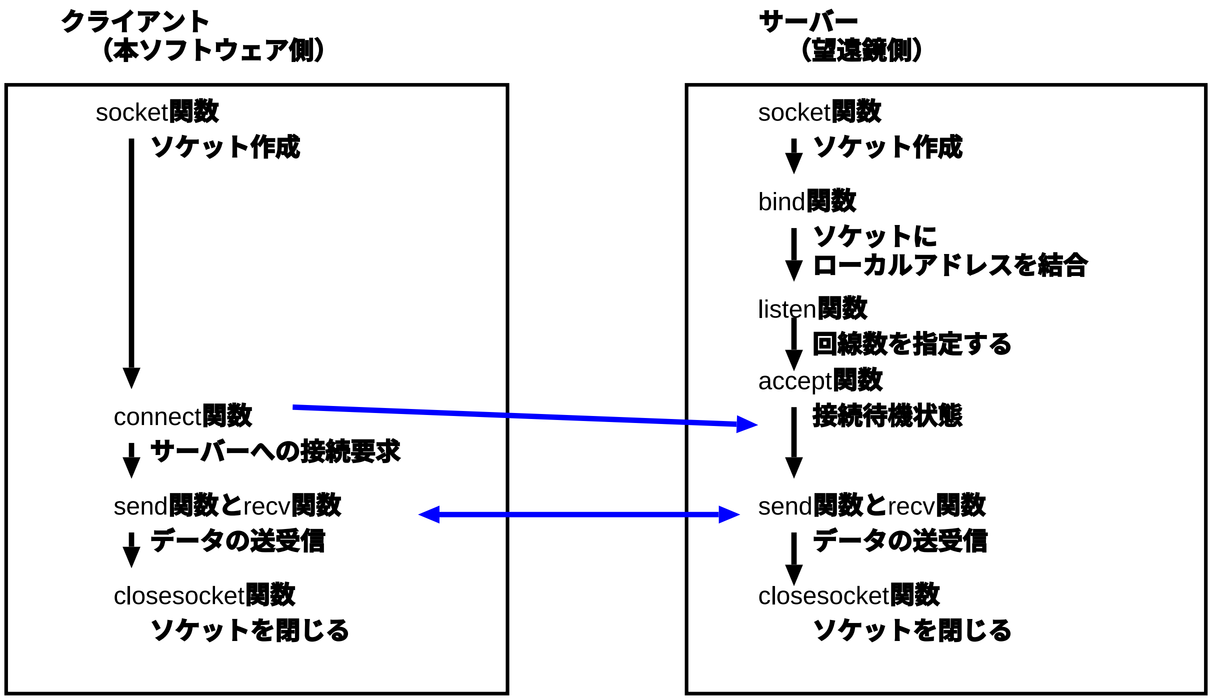


図 3.9: ストリームソケット通信の流れ

(図 3.9) はソケット通信の流れであり、以下は主な関数の説明である。

1. SockConnect 関数

   ソケットを作り、サーバー側に接続要求をする関数。

2. TGetOffset 関数

   望遠鏡からオフセットの値を受信する関数。今回は望遠鏡の赤経、赤緯、方位角、高度、姿勢のオフセット値を受信する。

3. GetStatusKanata 関数

   望遠鏡の現在位置での様々な制御パラメータを受信する関数。今回はカセグレンでの写野回転角 p を計算するために現在望遠鏡が向いている赤緯、高度、方位角を問い合わせて受信する。

4. SendTelescopeOffset 関数

   TGetOffset 関数で得られたオフセット値に、プログラムで計算した赤経赤緯それぞれの差を足して望遠鏡に送信する関数。その値を受けた望遠鏡はその計算で出した値の分だけ動き、目標座標へ天体が導入される。

第4章　試験観測と開発したソフトウェアの評価

4.1　試験観測と測定法

広島大学宇宙科学センター附属東広島天文台にて、今回開発した本ソフトウェアを使った高速分光器の試験観測を 2009 年 1 月 31 日と 2009 年 2 月 1 日、及び 2009 年 2 月 7 日に行った。対象とした星は試験的な分光例として適すると考えられる輝線ないしは吸収線をもつ明るい Be 星 (γ Cas ; V = 2.15 等) と低温度星 (Omi Cet ; V = 3 - 10 等)、星雲中の若い星 (θ_1 Ori C ; V = 5.13 等) の他、短時間変動が期待される FU Ori(V = 8.94 等)、RZ Cas(V = 6.26 等) である。

4.1.1　ダーク、フラット画像の取得

1 月 31 日には一次処理の為に必要なダークとフラットの測定と波長較正用光源 (HCT ランプ) を使った分光データの測定を行った。

初めに、フラットを測定した。まず、ドームを一様に照らすランプをつけ、本ソフトウェアの「spectroscopy」のモードを使い、「0.2mm slit」「grismblue」を選択してフラットを測定する準備を行った。そして、カメラ制御の PC を使い、露出時間 1sec、sensitivity 値を 128 に設定して 1 秒おきに 10frame の画像を取得した。さらに、ドーム内の灯りを全て消して、同じ設定でダークの画像も取得した。

次に、波長較正の為に HCT ランプを光源として測定した。フラット測定の時と同様に、本ソフトウェアの「spectroscopy」のモードを使って 0.2mm slit と grism とロングパスフィルター (L38) を光路上に挿入した状態にした後、HCT ランプを挿入・発光させて画像を取得した。この時は露出時間 27.24 秒 (最短)、sensitivity 値を 0 に設定して 2 秒おきに 10frame の画像を取得した。また、HCT ランプを消えた状態で挿入し、ダークの画像を同じ設定で取得した。

4.1.2　天体の観測

2 月 1 日は当初 FU Ori、RZ Cas、 γ Cas の 3 天体を観測する予定であったが、この日は雲が濃い為 FU Ori(20 時 15 分の時点)、RZ Cas(20 時 30 分の時点) の 2 天体は淡くて視

認できなかった為、これらの天体については観測できなかった。加えて、2 月 7 日に Omi Cet、θ_1 Ori C、FU Ori の観測を行った。

また、本ソフトウェアの「spectroscopy」のモードを使い、γ Cas は 2 回、Omi Cet は 1 回、計 3 回の天体導入試験 (γ Cas はについては 2 回目の導入試験後に観測) を行った。

観測を行った 4 天体のセットアップは以下 (表 4.1) のようになっている。

表 4.1: 観測のセットアップ

項目	γ Cas	Omi Cet	θ_1 Ori C	FU Ori
日付	2/1	2/7	2/7	2/7
時刻 (JST)	20:42	19:05	19:15	19:23
マスクスリット	0.2mm slit	0.2mm slit	0.2mm slit	0.2mm slit
分光素子	grism	grism	grism	grism
ロングパスフィルター	L38	L38	L38	L38
CCD 露出	100msec	27.24msec	3sec	10sec
frame 数	100frame	100frame	100frame	5frame
interval time	1msec	1msec	1msec	1msec
CCD sensitivity	128	128	128	128

4.2 望遠鏡導入支援

望遠鏡導入支援試験は 2 月 1 日に計 3 回行った。試験方法は本ソフトウェアを使って高速分光器で観測を行う一般的な状態を想定して行い、天体導入完了までの時間を測定した。

手順は以下のようになる。

まず、素子制御 PC で本ソフトウェアを、カメラ制御 PC でカメラ制御ソフトウェアを立ち上げた状態にしておく。望遠鏡の視野内に目標天体を入れておく。

1. 本ソフトウェアの「spectroscopy」モードを使い、「0.2mm slit」「grismblue」を選択する。
2. 0.2mm スリットが挿入され、他の素子は素通し状態になりポップアップウインドウが表示される。
3. カメラ制御ソフトウェアで 1 枚画像を取得し、スリットイメージを確認する。
4. 本ソフトウェアの「next」ボタンを押し、B バンドフィルターが挿入される。
5. カメラ制御ソフトウェアで 1 枚画像を取得し、天体の中心座標をチェックする。

6. 5でチェックした座標を本ソフトウェアに入力する。

7. 望遠鏡が動く。

8. 本ソフトウェアの「next」ボタンを押し、スリット、グリズム、ロングパスフィルターが入った状態となる。

9. カメラ制御ソフトウェアで画像を1枚取得し、天体がCCD上の目標位置にきているかチェックする。

10. 9がよければ観測開始する。

以上の手順1開始から手順9完了までの時間を測定した。

その結果、一回目は開始時間20:35:15〜導入完了時間20:36:35、二回目は開始時間20:41:00〜導入完了時間20:42:02、三回目は開始時間20:52:00〜導入完了時間20:53:15、となり、それぞれ導入開始から完了まで1分20秒、1分2秒、1分15秒であった。これらは本ソフトウェアができるまでに要していた時間(10 - 20分)に比べて圧倒的に短い。

4.3 試験観測データのリダクション

取得した天体の分光データはfitsというファイル形式で保存した。これをオブジェクトフレームと呼ぶ。しかし、この生データにはCCDのバイアスやダーク(暗電流)の情報が含まれているので、それを差し引いたり、ピクセルごとの感度ムラを補正する必要がある。この作業を1次処理と言う。今回は簡単なデータリダクションとして1次処理をした後、スペクトルの1次元化と波長較正、そしてフラックス較正を行いスペクトルのグラフを得た。データ解析にはIRAFというソフトウェアを使った。

4.3.1 観測データ

分光観測で得られたオブジェクトフレームである2次元スペクトル画像を各観測天体1枚ずつ、図4.1 − 4.4に示す。これらの画像はどれも縦方向が波長分散方向(上が長波長側)で、横方向がスリット長方向(空間方向)である。
γ Cas(図4.1)はHα、Hβの輝線が、Omi Cet(図4.2)とFU Ori(図4.4)には吸収線が見えるのが分かる。θ_1 Ori(図4.3)の上下に見られるスリット長方向に伸びている光は、θ_1 Oriが暗い天体であるので、スカイ、又は星雲の輝線が相対的に目立って来ているものだと考えられる。
また、波長較正用に取得したHCTランプの2次元スペクトル画像が図4.5である。長波長側にたくさんの輝線が見られる。

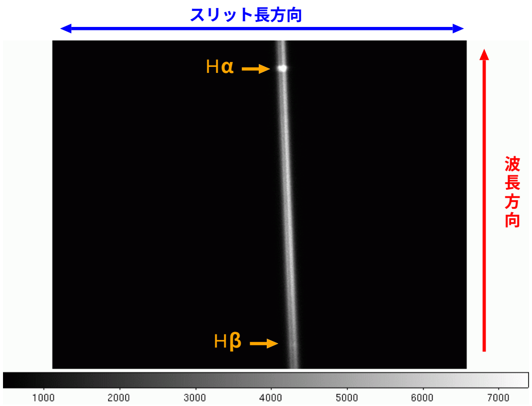


図 4.1: γ Cas の 2 次元スペクトル

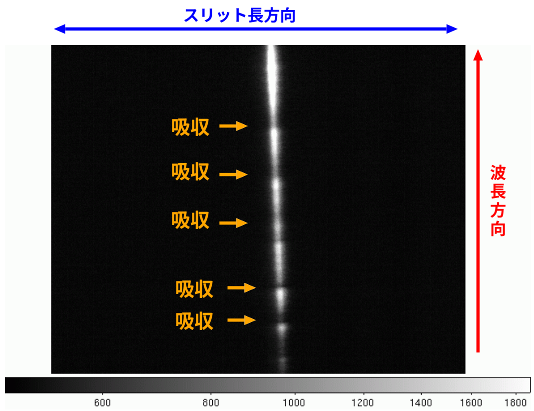


図 4.2: Omi Cet の 2 次元スペクトル

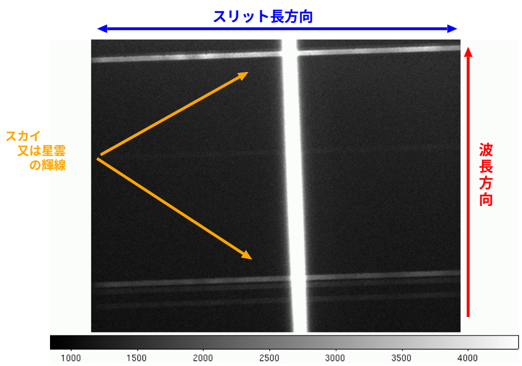


図 4.3: θ $_1$ Ori の 2 次元スペクトル

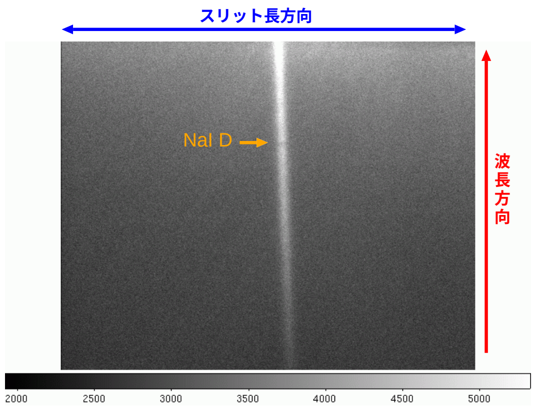


図 4.4: FU Ori の 2 次元スペクトル

4.3.2 観測データの 1 次処理

まず、オブジェクトフレームから暗電流を取り除く為のダークフレームとピクセル感度ムラを補正する為のフラットフレームを作成した。ダークフレームは IRAF の imcombine タスクを使い、測定したダークのデータ 10 枚のメディアンをとることで平均化して作成した。フラットフレームは測定したフラットのデータ 10 枚を同じように平均化した後、作成したダークフレームを引き、そのフレームをさらに自身を boxcar タスクで鈍らせたもので割ることで作成した。このように平均化することによって宇宙線などによるショットノイズも取り除くことができる。

次に、オブジェクトフレーム (各天体 100 枚、それぞれ) から準備したダークフレームを引き、さらにフラットフレームで割った。ここで波長較正用に HCT ランプを分光したデータを上と同じようにメディアンをとって平均化したものからダークフレームを引いておいた。

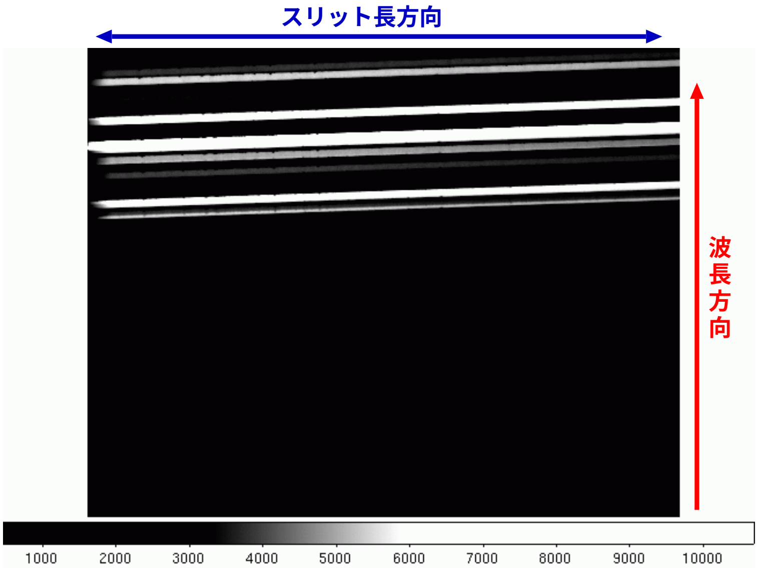


図 4.5: HCT の 2 次元スペクトル

さらに、ダークとピクセル感度ムラを補正したオブジェクトフレームと波長較正用フレームを 1.99 度回転させた。これは高速カメラの CCD チップが外枠より 1.99 度傾いて取り付けられているため、CCD 上でのスリット像がその角度分傾いているのを補正する為である。

以上を 1 次処理とする。

4.3.3 スペクトルの 1 次元化

天体もしくは HCT ランプの分光画像は波長分散方向 (y 軸方向) と空間方向 (x 軸方向) の 2 次元画像である。これを波長分散方向だけの情報にすることをスペクトルの 1 次元化と言う。こうすることによって、横軸ピクセル数、縦軸明るさ (フラックス密度) のグラフを作ることができる。スペクトルの 1 次元化は IRAF のタスクである blkavg を使い、空間方向である x 軸方向のたたみこみを行うことで実現した。

4.3.4 波長較正

天体のスペクトルを 1 次元化しただけではまだ横軸がピクセル数となっているので、横軸を波長に直す必要がある。それには、HCT ランプのスペクトルを 1 次元化したデータ (横軸ピクセル数) とあらかじめ分かっている HCT ランプのスペクトル (横軸波長) の情報を照し合せることでピクセル数と波長の関係式が分かり、観測した天体のスペクトルを横軸波長のグラフで表すことができる。IRAF では identify というタスクでピクセル数と波

長の関係式を出し、refspectra タスクでその関係式を 1 次元化した観測天体のスペクトルに登録し、そして dispcor タスクで観測天体のスペクトルに反映し横軸を波長に変換した (図 4.6)。

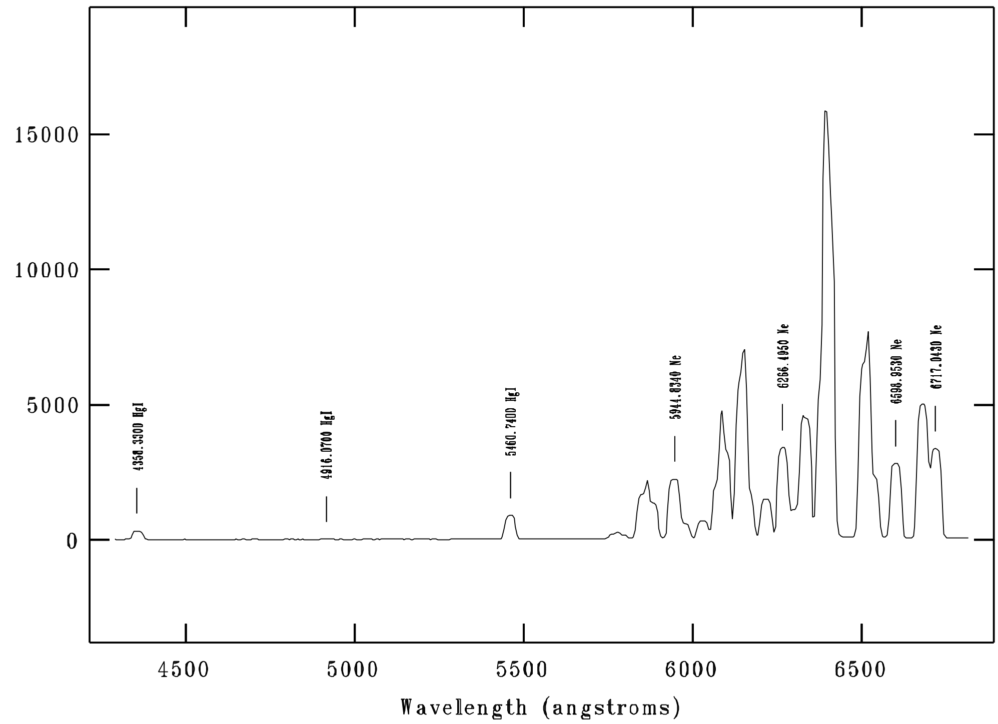


図 4.6: HCT 光源のスペクトルを波長同定したグラフ

4.3.5 フラックス較正

観測したフラックスは望遠鏡や観測装置ごとに異なり、他で観測した量と比較することができないのでそれを較正する必要がある。つまり、今のデータは「かなた望遠鏡にナスミス焦点に取り付けられた高速分光器」というシステムを使って得られたフラックスなので、それを比較することのできる標準的なシステムで観測した量に変換する必要がある。それをフラックス較正と言う。

較正の方法は、まず標準星を準備する。これは、標準システムで観測されたフラックスが分かっているものである。そこで、標準星を個々のシステムで観測すれば、そのシステムを通じた標準星のフラックスが得られ、そこから、個々のシステムで観測されたフラックスから標準システムでのフラックスに変換する関係式が分かる。この関係式を使うことで、個々のシステムで測定した目標天体のフラックスを標準システムでのフラックスに変換することができる。

今回は、標準星を取得しなかったが、精度は悪くても較正を行いたいと考えて、標準星には観測したγ Cas に星のタイプと等級が割と近い HR2421 (γ Gem; A0IV 型、V=1.90) のカタログデータを使った [7]。まず、IRAF の standard タスクでγ Cas と標準星の HR2421 を対応させ、sensfunc タスクで感度曲線を求めた。その感度曲線を fluxcalib タスクで観測した天体のスペクトルに適用してフラックス較正を行った。

図 4.7,4.8,4.9,4.10 にフラックス較正を行った各観測天体の 1 次元スペクトルを 1 枚ずつ示す。

γ Cas(図 4.7) には H α と H β の輝線がはっきりと見られる。Omi Cet(図 4.8) には H α 線と TiO による吸収がたくさん見られ、スペクトル型が M5e〜M9e である Omi Cet を良く表している。θ $_1$ Ori(図 4.9) には H α 線と OIII の禁制線が見られる。FU Ori(図 4.10) には NaI D の吸収線と思われるものが見られる。

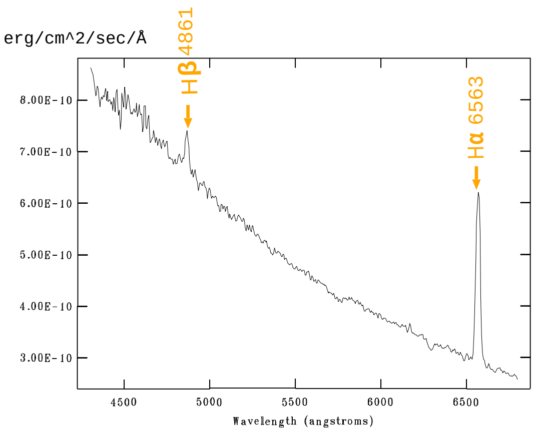


図 4.7: γ Cas の 1 次元スペクトル

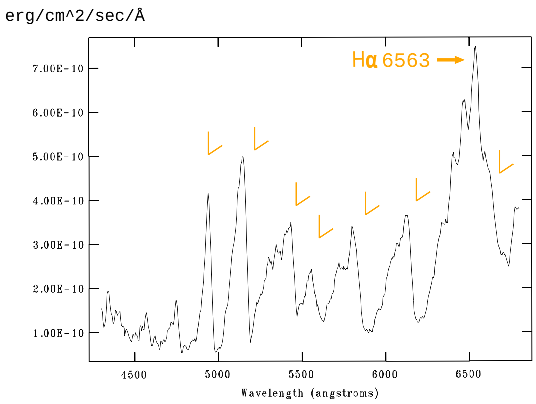


図 4.8: Omi Cet の 1 次元スペクトル

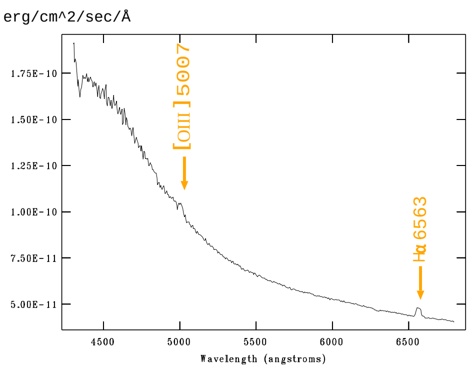


図 4.9: θ $_1$ Ori の 1 次元スペクトル

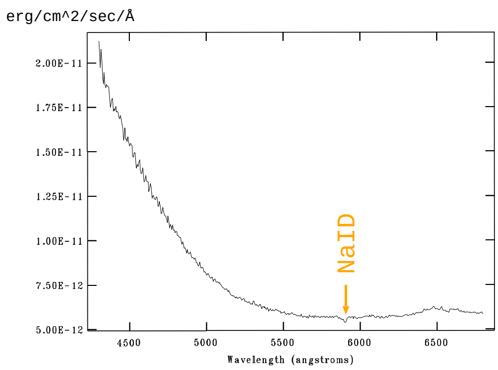


図 4.10: FU Ori の 1 次元スペクトル

また、図 4.11 は γ Cas の 1 次元スペクトルを上から、1、20、40、60、80、100 フレーム目と並べて書いたものである (20 - 100 フレーム目は全体のフラックス量を引いている)。このように、観測した全てのオブジェクトフレームを縦軸フラックス密度 (erg/cm^2/sec/Å)、横軸波長 (Å) のグラフにした。ここから、スペクトルの時間変動の様子が分かり、さまざまな物理を行うことができると期待される。

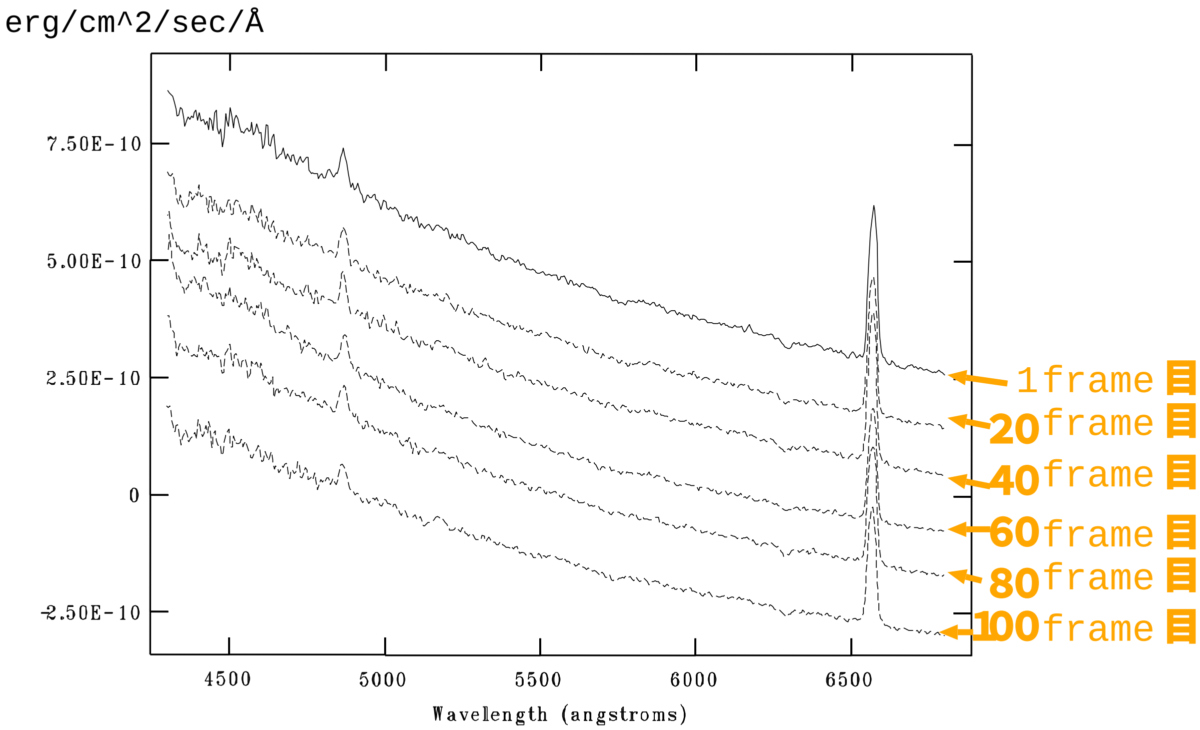


図 4.11: γ Cas の 1 次元スペクトルの時間変動

限界等級は前任の磯貝氏により、10 秒露出、S/N 比 10、最小ゲイン (sensitivity の値が 0) という条件では 12.4 等と求められている。これは、超低分散モード (グリズムの変わりにプリズムを利用) においては 15.7 等まで深くなる。これよりも明るい天体におけるスペクトルに高速変動に本装置は力を発揮できることになる。

4.4　考察

今回行った3日間の試験観測から、本研究の目的である観測効率の改善についての考察を行う。

まず、本ソフトウェア起動時について。第3章で述べた、本ソフトウェア起動時にコントローラと通信し初期化を行うことによって、時間がかかるのではないかという問題についてだが、試験観測初日に本ソフトウェアを起動した際の起動にかかった時間は5秒程度であり、起動している間にカメラ制御PCでカメラ制御のソフトウェアを起動するなどの作業を行えるということもあり、それほどストレスを感じなかった。むしろ、これまで使われていた素子制御のソフトウェアを使った場合はソフトウェアをコントローラごとに起動しなければならないこと、起動時の初期化を自分で行わなければならないことなどがあり、その手順も複雑であったので、それを考慮すると起動時の早さは格段に改善されたと言える。

また、起動後についても、本ソフトウェアでは起動時にアクチュエータの位置情報を問い合わせて、その時光路上に入っている素子を表示するようにしたので分かりやすくなった。さらに、起動したのは試験観測1日目の初めだけであり、他の観測日は既に立ち上がった状態から観測を行った。一週間程立ち上げっぱなしにしても特に異常は認められなかった。本ソフトウェアは通常立ち上がった状態のまま放置することが多いので、起動時の時間ロスについてはまったく問題ないと言える。

次に、望遠鏡の視野へ天体を導入する部分についてだが、初めに観測したい天体を決め、望遠鏡制御のパソコンで望遠鏡を目標天体に向くように動かした。動いている間に本ソフトウェアの分光モードで案内に従って、導入を進めた。望遠鏡の指向精度 (通常 RMS 3 - 4 ″) に限界があり、望遠鏡の指向動作だけでは CCD 上の目標位置 (スリット幅 ～2 ″程度) には天体を導入できない事がほとんどである為、本ソフトウェアの座標計算及び望遠鏡オフセット指令プログラムが活躍した。本ソフトウェアにCCD上での天体の位置座標を入力すると、どの試験観測でも、1回でほぼ目標位置に天体を導入できた。本来、オフセットの値で望遠鏡を動かすが、1回で目標位置へ導入することは難しく、何度も望遠鏡へ入力する必要があったことを考えるとかなり時間効率がよくなったと言える。実測では、これまでの方法で 10 － 20 分掛かっていた作業が1分余りで完了した。

また、望遠鏡制御系の指向解析が不十分で天体に望遠鏡を向けても CCD 視野内に天体が入っていない場合があるが、試験観測当初は「オフセットの値を望遠鏡に入力して、CCD 上で確認」というのを視野内に天体が入るまで数回繰り返し、その後本ソフトウェアの座標計算プログラムを使っていたものの、その後使うにつれ、天体を視野内に入れる作業のときも、CCD 上の星の並びや明るさで目標天体の方向が推測できる場合は座標計算プログラムが利用できることが分かった。例えば、「初めに望遠鏡を目標天体に向けた時は視野内に目標天体は入らなかった場合でも、CCD 上の右下が明るく、他の星の並び

からもそちらに目標天体があると推測できる。」場合は、座標計算プログラムで x に 512、y に 512 と入力すれば良い。このように座標計算プログラムが天体導入を大幅に簡単にしてくれるということを確認した。

さらに、分光観測を行う分散素子の切替えも GUI 上のボタンを押すだけであり、今までに使っていたソフトウェアと違い、素子に動作命令出すこと自体は直観的にボタン操作ひとつで行うことができ、素早く済むようになった。実質時間のかかる部分は素子の動作にかかるの時間のみである。それもソフトウェアの操作が簡単になった分、素子の動作中にカメラ制御や望遠鏡制御をする余裕ができ、実際に天体導入までにかかる時間は今までより劇的に早くなった。

そして、試験観測のデータから簡単なデータリダクションを行い、それぞれの天体から問題なくスペクトルが得られた。低分散モードで 12 等程度、超低分散モードで 15 等程度までの観測が可能と見積もられている。

以上のことから本ソフトウェアを開発したことにより、今までよりも観測効率が大幅によくなり、高速分光も問題なく行えると言える。

第5章　まとめ

私は、可視光での短時間変動をとらえる為に開発された高速分光器の駆動系制御ソフトウェアを開発した。本装置は広島大学宇宙科学センター附属東広島天文台かなた望遠鏡のナスミス焦点に取り付けられている。しかし、従来使われていた素子切替えのソフトウェアは様々な問題点があり、観測効率を低下させると共に、且つ観測ミスを引き起こす要因と成り得ていた。

私はこれらの問題点を克服し、観測の効率改善と正確性の向上、そしてどんな観測者でも使い易いソフトウェアを作ることを目的として開発を行った。本ソフトウェアは主に高速分光器の観測モードの切替えの為に素子を制御する「素子切替えプログラム」と望遠鏡に星を導入する際にそれを支援する「座標計算及び望遠鏡オフセット指令プログラム」からなっている。さらに、使い易いように GUI 上で操作できるようにした。

こうして完成したソフトウェアを使って 3 日間の高速分光器による試験観測を行った。実際に観測を行ったことで、本ソフトウェアによる観測効率の大幅な改善と高速分光器で問題なく分光観測を行えることを確認し、本研究の目的を達成できたと言える。

高速測光・分光観測の今後であるが、時間分解能を最速レベルに上げての可視光観測では、光量を稼ぐために大きな望遠鏡が必要となる。現在、京都大学と国立天文台岡山天体物理観測所等が連携して口径 3.8m の分割鏡型の次世代超大型望遠鏡を開発中であり、そこでも高速測光・分光観測が行われる予定である。これにより限界等級がさらに 2 等深くなる。よって、今後さらに広島大学で高速カメラの開発・観測を行うことは今後の発展が期待される時間分解能可視光観測の先駆けとして重要な役割である。

謝辞

本研究をするにあたって様々な指導をしていただいた川端先生、ありがとうございました。プログラムや、望遠鏡などの装置や天体についてなどの知識がほとんどない状態であった私に、とても丁寧に教えていただいたことに感謝しています。さらに、私が文章を書いたり、説明が苦手であることで御迷惑をお掛けしてすみませんでした。

また、研究室内で主に御世話になった深澤先生、ありがとうございました。さらに授業やセミナー、日常での指導をしていただいた大杉先生、山下先生、片桐先生、水野先生、植村先生、ひろたかさんに感謝致します。

本研究の主な装置である高速分光器を開発された磯貝先生、そして嶺重慎先生と野上大作先生、今回高速分光器の制御系のソフトウェアを開発する機会をいただきました、ありがとうございます。磯貝先生の作られた高速分光器に関する資料やアドバイス、とても参考にさせていただきました。

研究室内では、すべての先輩方に感謝いたします。研究室に入ったばかりで不安だったころに明るい大部屋の雰囲気には救われました。研究関係、パソコン関係、観測関係、朝起きられない関係などそれぞれについてアドバイスをいただきありがとうございました。そして、同じ 4 年のみなさんこのメンバーでよかったです。

参考文献

[1] 千代延 真吾 2006 修士論文 (広島大学)

[2] 磯貝瑞希 「高速カメラの分光システム開発の状況」と「高速分光器マニュアル」(http://www.hida.kyoto-u.ac.jp/ nogami/HSspec/ 現在このページにはパスワードがかかっている)

[3] SUS 社 「XA-S1,XA-S2,XA-S3,XA-S4 取扱説明書」
XA コントローラ、アクチュエータ附属品

[4] 杉保圭 2007 多波長研究会「高速カメラで激変星の短時間変動を捉える!!」

[5] SUS 社 「XA-S1,XA-S2,XA-S3,XA-S4 通信プロトコル仕様書」
(http://www.sus.co.jp/)

[6] 田中済 1992 国立天文台報「高精度望遠鏡ポインティングに必要な天体位置の補正」

[7] Taylor,B.J.1984,ApJS,54,259